REPORTE SEMESTRAL DE GEOTECNIA – ESIA CAT III

Diciembre 2022 – mayo 2023

Departamento de geotecnia de mina
Servicios técnicos de mina

TABLA DE CONTENIDOS

Programas de perforación geotécnica 2
Pruebas geotécnicas 2
Evaluación numérica en FLAC3D de la esquina suroeste del tajo Botija 3
Introducción 3
Calibración de las propiedades del talud 3
Análisis prospectivo de la pared suroeste 4
2023 4
2024 4
Remediación preliminar y modificaciones al diseño 6
Recomendaciones finales 8

PROGRAMAS DE PERFORACIÓN GEOTÉCNICA

No se realizaron perforaciones geotécnicas en el semestre reportado. Para el segundo semestre del año en curso, se está preparando una campaña de perforación en diamantina en el tajo Botija para el registro de datos estructurales y documentación de condiciones de roca a lo largo de la pared norte.

PRUEBAS GEOTÉCNICAS

Las pruebas geotécnicas que se llevan a cabo en el departamento de geotecnia de mina consisten en ensayos de carga puntual, comúnmente abreviado PLT por sus siglas en inglés.

Se realizaron las siguientes pruebas durante el último semestre:

- Diciembre 2022: 40 ensayos, todos provenientes del pozo NCCP004, ubicado en la expansión norte del tajo Botija. El tipo de roca predominante en estas pruebas es granodiorita.

- Enero a junio 2023: 912 ensayos provenientes de los pozos CDP014, CDP018, CDP019, CDP020, CDP022, CDP024, RES013, RES013B, y RES043 perforados en Colina como parte de las distintas fases de la campaña de expoloración. En el número total de ensayos también se incluye el pozo NCCP006 que está ubicado en Botija, parte de la campaña geoténica finalizada en el 2022 para el sector norte del tajo al igual que el pozo NCCP004 mencionado anteriormente.

Adicionalmente, existe un programa en curso para enviar muestras a ensayos de laboratorio, con el objetivo de obtener valores de resistencia de la roca que complementen el modelo geotécnico. Los resultados de este programa serán reportados en el segundo semestre de este año.

Cobre Panamá

FIRST QUANTUM MINERALS LTD.

EVALUACIÓN NUMÉRICA EN FLAC3D DE LA ESQUINA SUROESTE DEL TAJO BOTIJA

Introducción

En mayo de 2022, se detecta un evento de desplazamiento importante en la pared suroeste del tajo Botija, inmediatamente debajo de la rampa correspondiente. Este desplazamiento data desde abril del 2020, pero la tasa de desplazamiento incrementó considerablemente en marzo del 2022 como resultado del minado de los bancos 15 mRL y 0 mRL. Múltiples eventos de lluvia también contribuyen a este incremento entre marzo y mayo del 2022.

Se presume que el mecanismo de falla está controlado por una compleja cuña cuya línea de intersección no aflora en la pared del tajo. El desplazamiento se desencadenó en la esquina oeste de la pared, y luego se trasladó a lo largo de la falla Botija.

Cobre Panamá contrató los servicios de Piteau Associates para realizar un análisis numérico de estabilidad en la esquina suroeste del tajo Botija, evaluar el diseño actual de los taludes, y proponer opciones para remediar la zona de falla. Los hallazgos, conclusiones y recomendaciones han sido desarrollados de manera consistente con el nivel de habilidad normalmente practicado por profesionales que actualmente ejercen en Norteamérica.

Calibración de las propiedades del talud

Debido a una distribución escasa de ensayos de laboratorio en esta zona, se ha debido de calibrar el modelo para inferir las propiedades del macizo y las fallas geológicas que llevaron al talud a presentar altas deformaciones a finales de julio de 2022. El proceso consiste en realizar distintas iteraciones en las que se lleva el talud a fallar, variando los parámetros de entrada de las propiedades de la roca y planos de falla, hasta que el resultado del modelo produzca el mismo desplazamiento registrado en julio.

Para esto se utilizan datos de desplazamiento de los instrumentos de monitoreo que vigilaban la zona de interés previo a la falla del talud, que en este caso incluyen datos de prismas y del radar. Luego de encontrar las propiedades del talud, se realizan distintas iteraciones de análisis prospectivo para determinar la estabilidad de la pared a lo largo de la vida de la mina y encontrar geometrías favorables que sean seguras para la continuación del minado.

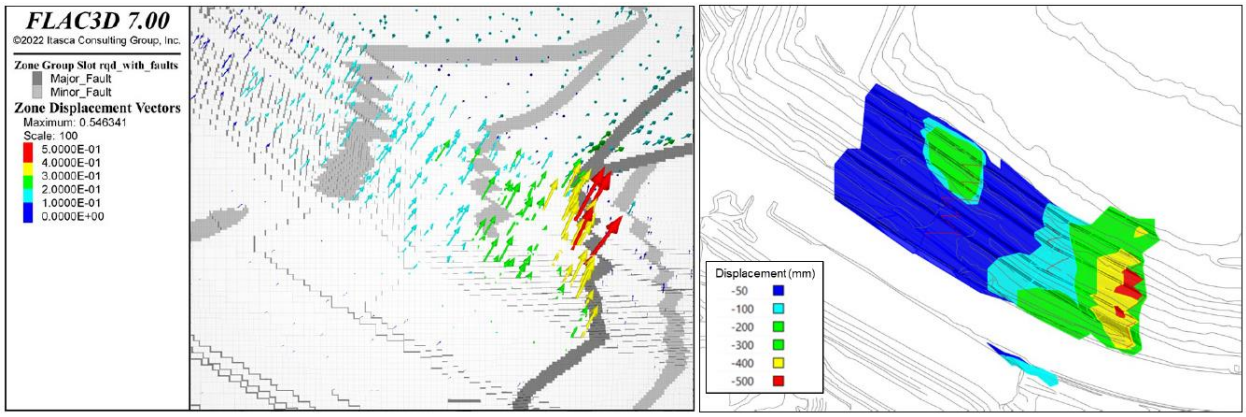


Figura 1. Calibración del modelo utilizando datos de deformación registrados por el radar. A la izquierda, desplazamiento resultante del modelo en FLAC3D. A la derecha, desplazamiento real registrado por el instrumento.

Unit	Constitutive Model	Unit Weight (kN/m³)	Poisson's Ratio	Dilation (°)	Intact Rock Strength (MPa)	mi	Cohesion (kPa)	Friction (°)	Tension (kPa)	Young's Modulus (GPa)	Residual Cohesion (kPa)
Rock Mass	Hoek-Brown	2.67	0.3	4	85	29	-	-	-	-	-
Saprolite	Mohr-Coulomb	1.85	0.42	0	-	-	50	30	0	0.55	50
Major_Fault	Mohr-Coulomb	2.5	0.3	0	-	-	50	25	0	1	0
Minor_Fault	Mohr-Coulomb	2.5	0.3	0	-	-	75	30	0	1	40
Waste	Mohr-Coulomb	1.73	0.3	0	-	-	10	38	0	0.2	10

RQD	RMR76
0-30	35
30-40	40
40-50	43
50-60	46
60-70	49
70-100	51

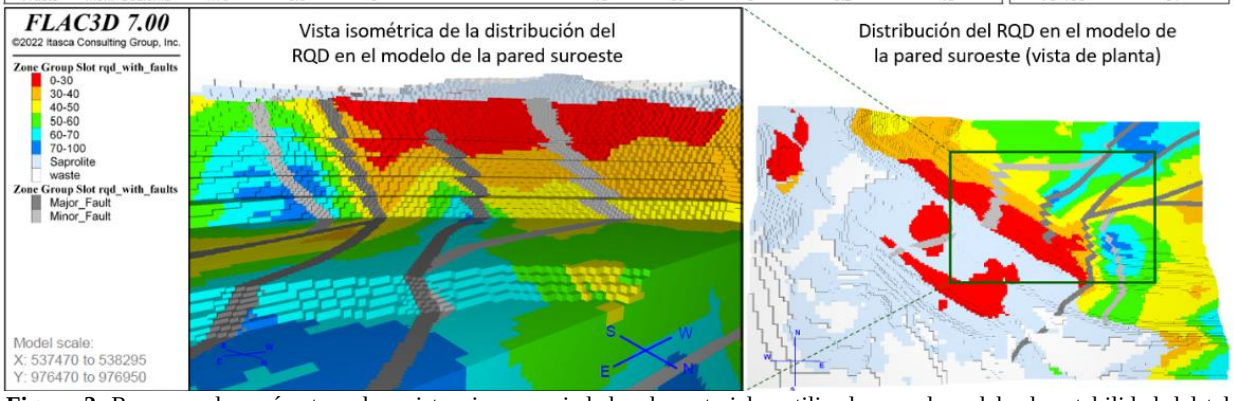


Figura 2. Resumen de parámetros de resistencia y propiedades de materiales utilizados en el modelo de estabilidad del talud suroeste en Botija.

Análisis prospectivo de la pared suroeste

2023

- El desplazamiento modelado para el año 2023 es mínimo.

2024

- Se observa desplazamiento en el tercer cuarto del año 2024.
- El desplazamiento observado en los tercer y cuarto cuartos del 2024 ocurre en la intersección de las fallas Botija, Strike Central, y Botija Inferior, donde el macizo tiene un RQD menor al 40%.
- A medida que progresa el minado, esta región de roca débil se ve expuesta y el desplazamiento continúa.

- La velocidad obtenida de los modelos indica que la pared es inestable.
- Observaciones del tercer cuarto del año:
    - A medida que se excavan los taludes, el peso de la roca arriba de los mismos causa deformación por cizalla en la roca más débil, ubicada en la pata del talud.
    - Las fallas geológicas (Río Botija y Botija Inferior) actúan como plano de desprendimiento, reduciendo el confinamiento y permitiendo la falla del talud.
- Observaciones del último cuarto del año:
    - El diseño de talud entregado por Minera Panamá y modelado en FLAC3D para el análisis de estabilidad, incluye un ángulo entre rampas (IRA) de 42º en el puntal intacto. No obstante, el ángulo de diseño se ha ido reduciendo e implementando en Minera Panamá hasta obtener un ángulo de 34º.
    - Se realizó un análisis preliminar de esta reducción del ángulo entre rampas en el software Slide2 para determinar el potencial beneficio de la reducción del ángulo para la estabilidad del talud.
    - Se redujo el valor de GSI en la unidad de roca cuyo RQD<30 de un valor inicial de 35 a 25, con el objetivo de calibrar el comportamiento del talud esperado en 2D (es decir, que tenga un factor de seguridad menor a 1).
    - Análisis preliminares en 2D indica que la reducción del ángulo entre rampas incrementa el factor de seguridad en un 30%, ya que dicha disminución del ángulo de talud permite que la roca más competente quede en la pata del talud.
    - Esta configuración debe de ser evaluada con el modelo calibrado en 3D para validar los resultados de estabilidad obtenidos.

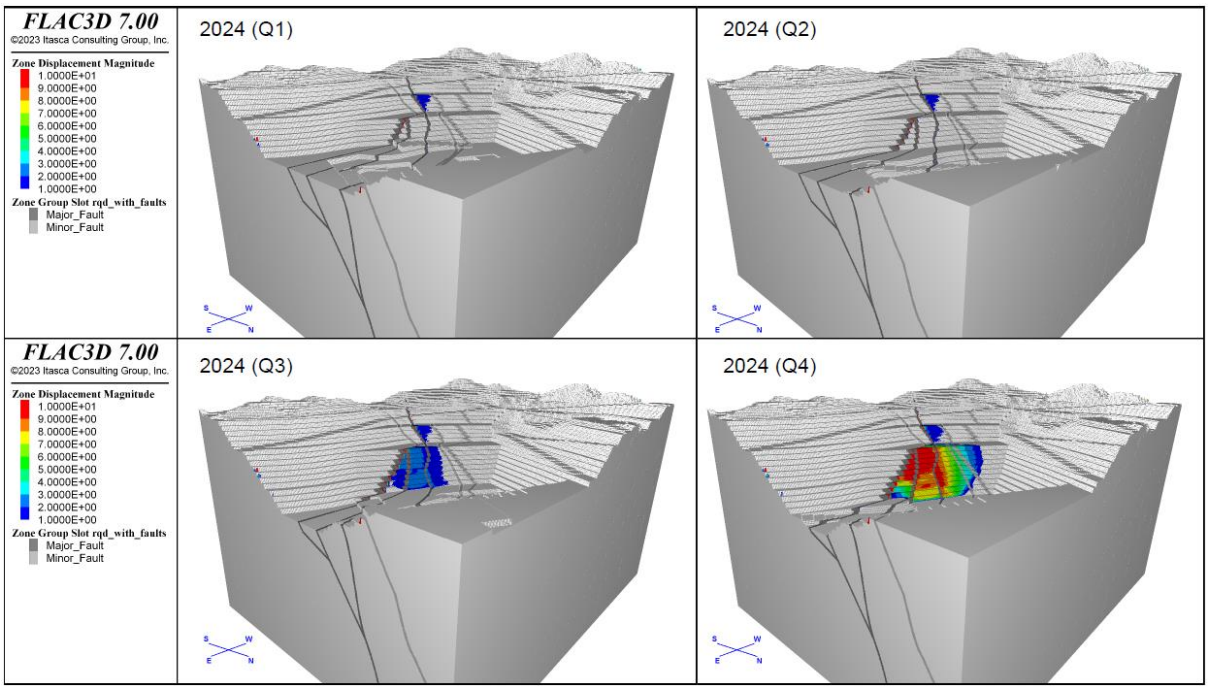


Figura 3. Resultados del análisis prospectivo de la pared suroeste para el 2024. La leyenda indica magnitud de desplazamiento predicha para dicho periodo. Los planos en la pared representan fallas geológicas.

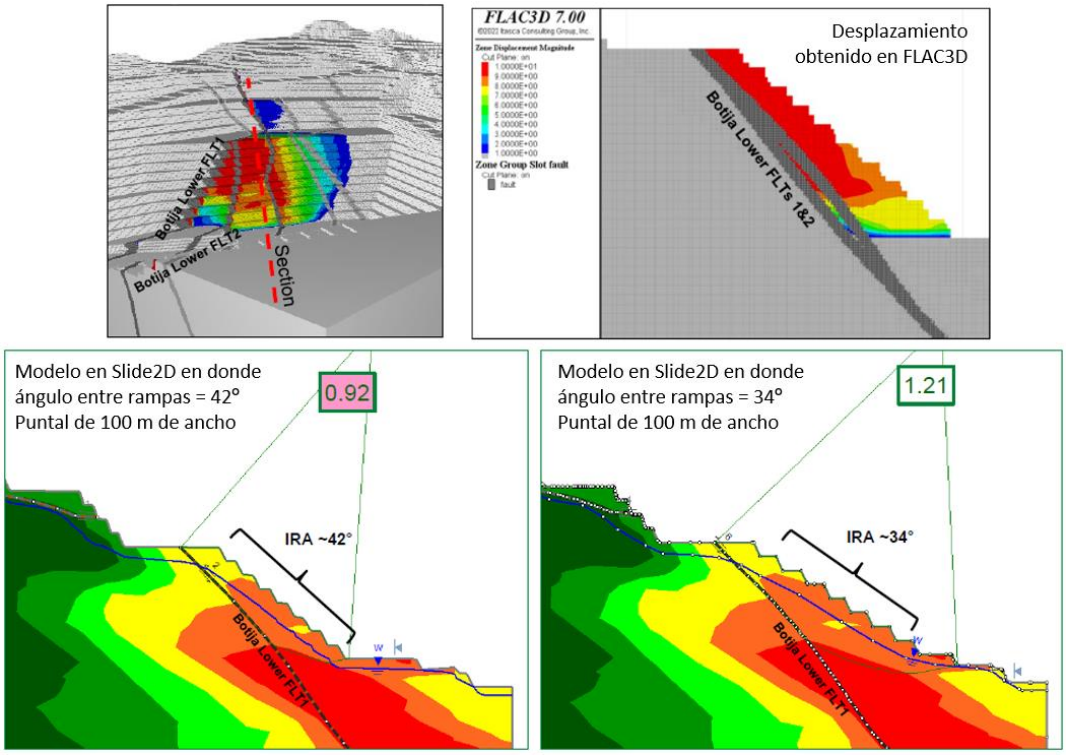


Figura 4. Análisis preliminar en 2D en el cual se reduce el ángulo entre rampas de 42º a 34º, sin modificar el ancho del puntal.

Remediación preliminar y modificaciones al diseño

- Opciones preliminares para la modificación de diseño del talud, 2024 – Q4

El diseño actualmente implementado en Cobre Panamá incluye puntal intacto de 100 m de ancho, con un ángulo entre rampas de 34º. Como se ha demostrado anteriormente, se requiere de un ángulo entre rampas menor (como 34º) para que la roca más resistente quede soportando el pie de la pared, estabilizando así los bancos superiores.

Los taludes superiores del puntal intacto (los que van de 0 mRL al -45 mRL) se requieren para mantener el desplazamiento confinado a esos taludes más superficiales.

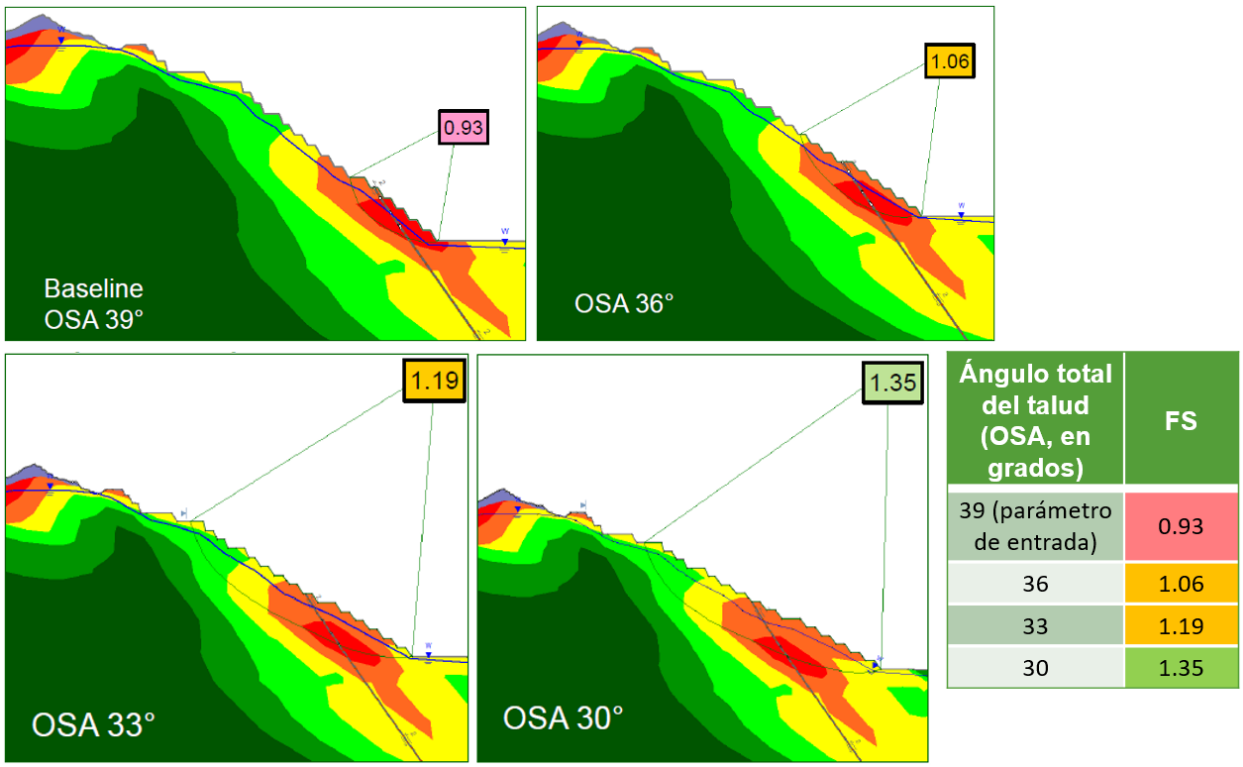
Se evaluó una reducción del puntal a 50 m de ancho utilizando el programa de análisis de equilibrio límite, Slide2, para determinar si se debe de optimizar aún más la berma geotécnica. Los resultados de estos análisis preliminares sugieren que una reducción del ancho a 50 m puede ser beneficioso para la estabilidad de la pared al reducir los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla en la parte superior de la inestabilidad analizada. No obstante, se requieren más análisis en paquetes de software que consideren las tres dimensiones para corroborar los resultados obtenidos.

- Opciones preliminares para la modificación de diseño del talud, 2029

Se analizó una sección del tajo del 2029 en Slide2 para evaluar potenciales beneficios a la estabilidad de la pared si se reduce el ángulo total del talud. El análisis inicial utilizó el diseño del tajo proporcionado por Cobre Panamá, en el cual el ángulo total del talud aproximaba los 39º en la zona de falla en cuestión. El resultado de este análisis arroja un factor de seguridad menor a uno, en acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad realizado en FLAC3D.

El ángulo total del talud se redujo en incrementos de 3º hasta obtener un factor de seguridad mayor a 1.3. Se selecciona 1.3 como factor de diseño debido a la presencia de infraestructura crítica en la cresta del talud en este sector.

Resultados iniciales indican que se requiere un ángulo total de talud de aproximadamente 30 grados para lograr un factor de seguridad de 1.3. Este ángulo menos pronunciado permite que la roca más competente quede ubicada en la pata del talud, incrementando la fuerza resistente al corte.



Ángulo total del talud (OSA, en grados)	FS
39 (parámetro de entrada)	0.93
36	1.06
33	1.19
30	1.35

Figura 5. Diferentes iteraciones en 2D en las que se reduce el ángulo total del talud hasta encontrar un factor de seguridad acorde a los criterios admisibles de diseño de taludes para pendientes con infraestructura crítica.

Recomendaciones finales

Trabajos futuros:

- Realizar un análisis de estabilidad en 3D utilizando el modelo calibrado de FLAC3D para evaluar y validar los resultados de los análisis en Slide2, tomando en cuenta los siguientes escenarios:
    - Implementar un ángulo entre rampas de 34º para el puntal intacto.
    - Potencial reducción del ancho del puntal de 100 m a 50 m.
    - Potencial reducción del ángulo total del talud (OSA por sus siglas en inglés) a 30º o 33º en el tajo final. Este análisis se debe de llevar a cabo en conjunto con el departamento de Planificación de minas de Cobre Panamá, una vez exista un diseño actualizado para la geometría final del tajo.

Recomendaciones:

- Muchas de las fallas observadas en el modelo son producto de zonas de baja calidad del macizo rocoso en donde el RQD es menor a 40%. Invertir en campañas de investigación geotécnicas dedicadas (perforaciones en diamantina, ensayos de laboratorio, etc.) y un mejor entendimiento del modelo geotécnico puede repercutir en los resultados de estabilidad si dichas investigaciones comprueban una mejoría en las condiciones de roca en comparación a las propiedades modeladas actualmente.
- Si la distribución de roca débil con RQD menor a 40%, y planos de cizalla cloritizados son corroborados de acuerdo a la predicción del modelo, se requiere una modificación en la ubicación de la pared final o modificación del ángulo total del talud.